昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, July 2013, 56(7): 799 - 806 ISSN 0454-6296

寄主植物对水椰八角铁甲发育历期、取食和繁殖的影响

席 博，张秩勇，侯有明*，石章红
（福建农林大学植物保护学院，福建省昆虫生态重点实验室，农业部闽台作物有害生物综合治理重点实验室，福州 350002）

摘要：本文探讨了加拿利海枣 *Phoenix canariensis*、棕榈 *Trachycarpus fortunei*、刺葵 *Phoenix hanceana* 和蒲葵 *Livistona chinensis*)4 种寄主植物对水椰八角铁甲 *Octodonta nipae* (Maulik)取食和产卵的影响，并分析了寄主植物叶片中影响该虫取食量、产卵量的主要营养成分。结果表明：水椰八角铁甲对上述 4 种寄主的选择有显著差异，偏好加拿利海枣和棕榈，而对蒲葵的选择性最差。4 种寄主植物叶片中主要营养成分含量差异显著(粗脂肪：$F_{3,8}$ = 153.508，P = 0.000；可溶性糖：$F_{3,8}$ = 56.922，P = 0.000；可溶性蛋白：$F_{3,8}$ = 150.309，P = 0.000；游离氨基酸：$F_{3,8}$ = 41.278，P = 0.000)，其中加拿利海枣中可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸含量均较高，分别为 1.13%，1.05% 和 19.50%；蒲葵中粗脂肪含量较高，为 7.04%，其余 3 种营养成分含量均较低。主成分分析表明游离氨基酸、可溶性糖和可溶性蛋白是影响水椰八角铁甲取食、产卵的主要因素，与取食量和产卵量均显著相关，贡献率分别为 56.1%，26.7% 和 13.7%。该研究对于分析水椰八角铁甲的寄主适应性变异及其机理等均具有重要意义。

关键词：水椰八角铁甲；取食；繁殖；寄主植物；营养成分；主成分分析
中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2013)07-0799-08

Effects of host plants on the developmental duration, feeding and reproduction of the nipa palm hispid, *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae)

XI Bo, ZHANG Zhi-Yong, HOU You-Ming*, SHI Zhang-Hong (Key Laboratory of Integrated Pest Management for Fujian-Taiwan Crops, Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Insect Ecology in Fujian; College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: In this paper, the influence of four host plant species, including *Phoenix canariensis*, *Trachycarpus fortunei*, *Phoenix hanceana* and *Livistona chinensis*, on the developmental duration, feeding and reproduction of *Octodonta nipae* was studied, and the main nutrient components in those four host plants affecting feeding and reproduction of *O. nipae* were analysed. The results indicated that *O. nipae* obviously preferred to *P. canariensis* and *T. fortunei*, while had the lowest selectivity to *L. chinensis*. Significant differences existed in contents of four nutrient components of different palm leaves (crude fat: $F_{3,8}$ = 153.508, P = 0.000; soluble sugar: $F_{3,8}$ = 56.922, P = 0.000; soluble protein: $F_{3,8}$ = 150.309, P = 0.000; free amino acid: $F_{3,8}$ = 41.278, P = 0.000). The nutrient components of free amino acids, soluble sugar and soluble protein in *P. canariensis* were relatively high, with the content of 1.13%, 1.05% and 19.50%, respectively. However, the content of crude fat in *L. chinensis* was higher (7.04%) compared with the contents of other three nutrient components in *L. chinensis*. Principal component analysis showed that the free amino acid, soluble sugar and soluble protein were the key factors that affect the feeding and reproduction of *O. nipae*, and their contribution rates were 56.1%, 26.7% and 13.7%, respectively. In addition, the significant correlations were found between the three nutrient components of palm leaves and the feeding and reproduction of *O. nipae* on their respective hosts. This research has important significance for analysis host adaptive variation of *O. nipae* and its mechanism.

基金项目："973"计划项目(2009CB119206)；国家自然科学基金项目(30871656, 31071749)；教育部博士点基金(20093515110001)
作者简介：席博，女，1986 年 9 月生，河南郑州人，硕士研究生，主要从事农业昆虫与害虫防治研究，E-mail: xiichen0207@163.com
*通讯作者 Corresponding author, E-mail: ymhou@fjau.edu.cn
收稿日期 Received: 2013-01-23；接受日期 Accepted: 2013-05-24

Key words: *Octodonta nipae*; feeding; reproduction; host plants; nutrient components; principal component analysis

水椰八角铁甲 *Octodonta nipae* (Maulik) 是一种严重危害棕榈科植物的外来入侵害虫。该虫隶属鞘翅目(Coleoptera),铁甲科(Hispidae),潜甲亚科(Anisoderinae)隐爪族(Cryptonichini)。该虫原产于马来西亚,于 2001 年在我国海南省东方市江南苗圃内的华盛顿棕榈 *Washingtonia filifera* (Linden) Wendland 上首次发现(梁琼超等, 2002; 孙江华等, 2003; 吴大军等, 2007)。其外形及危害特征与椰心叶甲 *Brontispa longissima* Gestro 相似,是棕榈科植物的重要害虫(Gressitt, 1960; 梁琼超等, 2002)。2007 年,福建农林大学入侵生物学实验室在对福建省外来入侵生物调查中,在福建省的福清、漳州、厦门等地发现该虫为害,在各地的行道绿化带和苗圃等棕榈科植物上造成很大的危害(Hou and Weng, 2010)。

寄主植物对害虫的影响与寄主植物的营养成分等有很大关系,植物中的氮素、糖、氨基酸等含量及其配比是限制植食性昆虫生长、发育、繁殖的关键。有关寄主植物营养对害虫体型、生长发育、存活和繁殖影响的研究已在烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Coudriet *et al*., 1985; Mohanty and Basu, 1986; Tsai and Wang, 1996; 林克剑等, 2003, 2008)、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) (夏敬源等, 1997)、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner)(陈永兵等, 1999)等害虫中报道。

植食性昆虫对寄主植物的选择性是指它对寄主植物的种类、取食和产卵部位等均有一定的偏好性,这包括取食选择性和产卵选择性(钦俊德, 1985)。余风玉等(2009)研究了水椰八角铁甲在金山葵 *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassm.、大丝葵 *Washingtonia robusta* H. Wendland 和海枣 *Phoenix dactylifera* L. 3 种寄主上的生存状况,发现水椰八角铁甲在大丝葵和海枣上的存活率偏低,均低于 60%。隶属于同一科的椰心叶甲具有和水椰八角铁甲极为相似的性状特征和生活习性。曾玲等(2003)和李亚等(2007)的研究表明,8 种寄主植物都适合椰心叶甲的生长发育的需要,但有关寄主营养成分等对水椰八角铁甲取食、产卵的影响方面尚未见报道。本文以 4 种寄主植物为食料对水椰八角铁甲进行室内饲养,通过其对寄主植物的选择性和叶片营养成分的测定分析,研究寄主植物中灰分、粗纤维、粗脂肪、可溶性糖、可溶性蛋白及游离氨基酸含量等对水椰八角铁甲取食、产卵的影响。在此基础上分析水椰八角铁甲的食性选择偏好,以及不同寄主植物营养成分含量的差异对其取食和产卵的影响。本研究将为分析区域生态系统中水椰八角铁甲转移为害规律、寄主转换及其对种群适应性和致害性变异的影响奠定基础,并且为阐明水椰八角铁甲种群对寄主植物的适应性机理等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试寄主植物和虫源

供试寄主植物为加拿利海枣 *Phpenix canariensis* Hort *ex* Chabaud,棕榈 *Trachycarpus fortunei* (Hook.) Wendland,刺葵 *P. hanceana* Naudin,蒲葵 *Livistona chinensis* (Jacq.) R. Br. *ex* Mart.。加拿利海枣(下称海枣)和蒲葵采自福州市江滨公园,棕榈和刺葵采自福建农林大学校园。虫源为实验室连续饲养多代的水椰八角铁甲,饲养条件为:温度 25±1℃,相对湿度 70%±5%,光周期 12L∶12D。

1.2 主要试剂

考马斯亮蓝 G-250(进口分装),国药集团化学试剂有限公司生产;石油醚(30~60℃)、硫酸、氢氧化钠、蒽酮、茚三酮(均为分析纯),国药集团化学试剂有限公司生产。

1.3 水椰八角铁甲在 4 种寄主植物上的发育历期和取食量

将初孵幼虫分别用以上 4 种寄主进行饲养,每种寄主接虫 30 头。饲养在圆柱型植物组织培养瓶(直径约 7 cm,高约 10.5 cm)中,每个培养瓶中接 1 头幼虫,瓶底铺放湿润的滤纸,滤纸每日更换一次以保持瓶内湿度,瓶盖处有一个小孔,并用尼龙网覆盖,以防止幼虫逃逸。将刚孵化的 1 龄幼虫放于剪成约 5 cm 长度的寄主叶片中,每天换一次新鲜叶片。每日 9:00 和 19:00 观察并记录水椰八角铁甲幼虫脱皮情况(龄期的增加以蜕皮为标准)、化蛹时间和死亡虫数等,计算各龄幼虫发育历期和蛹期。在每日 19:00 用透明坐标纸描出叶片上的取食痕,根据宽度、长度计算出取食面积。试验每一寄主处理设 30 个样本,重复 3 次。

在蛹羽化为成虫后 15 d,雌雄配对,并于每日

19：00 记录培养瓶内产卵数目。分别选取在各种寄主饲养下成虫所产的卵粒 100 粒放于各自寄主的新鲜叶片中，叶片放置于培养皿中，培养皿底部铺垫 3 mm 厚脱脂棉，脱脂棉上层覆盖一层滤纸，滤纸需要喷水保湿的程度为见水而不流。于每天 8：00 和 20：00 时观察并记录孵化数目和孵化率。试验设 3 个重复。

1.4　水椰八角铁甲在不同寄主植物上取食产卵选择的测定

选择仪的制作：取直径 40 cm、高 4 cm 带盖的塑料盘，用硬塑料膜将其隔成大小相等的 8 块扇形区域，并在中间留出直径为 10 cm 的圆型区域作为接虫区，做成自制的选择仪（图 1），在不放叶片的情况下每次用 64 头水椰八角铁甲进行仪器可行性检测 1 h，重复 4 次，分析可得，水椰八角铁甲进入 8 块区域的百分率无显著差异，因此，本装置可用于本研究中的选择性测定实验。

试验时将重量相似的 4 种寄主植物叶片（扇形区域用滤纸铺垫，叶片用脱脂棉沾水保湿）放入扇形区域，每种寄主叶片对位间隔放置，空白区域为对照，放置顺序为海枣-CK-棕榈-CK-刺葵-CK-蒲葵-CK（图 1），叶片距接虫区约 10 cm。每次用小毛笔将 64 头（32 对）水椰八角铁甲雌雄成虫扫入接虫区内。在室温下分别记录放置 1，2，12，24，48 和 72 h 后每张叶片及所在区域内的水椰八角铁甲数量、取食量及产卵量，并重复 5 次。

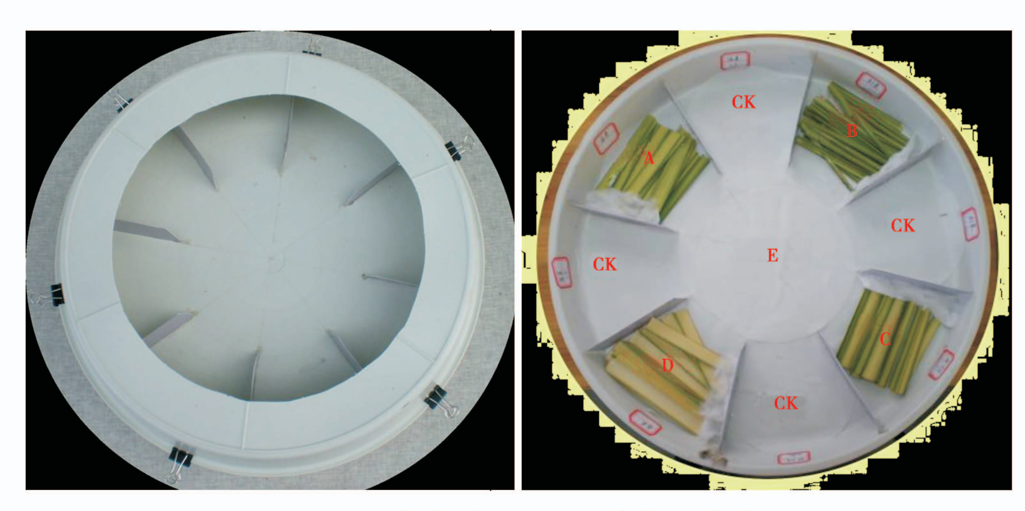


图 1　水椰八角铁甲寄主选择试验中寄主植物布局

Fig. 1　The layout of host plants in olfactory response tests of *Octodonta nipae* to different palm leaves

A：海枣 *Phoenix canariensis*；B：棕榈 *Trachycarpus fortunei*；C：刺葵 *Phoenix hanceana*；D：蒲葵 *Livistona chinensis*；E：接虫区 Insect inoculation area；CK：空白对照 Black control.

1.5　寄主植物营养成分的测定

每个处理选取不同寄主心叶 15 g，冲洗表面杂质，自然晾干，分别剪碎混匀，然后按各个测定指标所需的量进行称取。分别采用灰化法（宁开桂，1993）、酸碱消煮法（宁开桂，1993）、索氏提取法（汤章城，1999）、蒽酮比色法（陈毓荃，2002）、考马斯亮蓝法 G-250（陈毓荃，2002）及茚三酮法（王学奎，2006）测定 4 种寄主植物心叶中灰分、粗纤维、粗脂肪、可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸的含量。每处理重复 3 次。

1.6　数据处理

采用 SPSS 17.0 分析软件进行数据处理，用 One-Way ANOVA 对不同寄主营养物质含量及不同寄主喂食的水椰八角铁甲的取食量和产卵量进行比较，并用 Duncan 法进行多重比较。采用 Principal components 确定影响水椰八角铁甲取食和产卵的主要营养成分。不同营养物质与水椰八角铁甲取食量和产卵量之间的相关性分析采用 Correlation 中的 Pearson 简单相关系数进行。

2　结果与分析

2.1　寄主植物对水椰八角铁甲生长发育的影响

表 1 表明，水椰八角铁甲在不同寄主植物上的发育历期和取食量均存在差异。

4 种寄主植物上水椰八角铁甲的卵都是 5 d 后才开始孵化。取食不同寄主植物的幼虫发育历期有显著差异。在棕榈上的发育历期最短，仅为 28 d 左

表 1 同寄主植物上水椰八角铁甲发育历期和取食量的差异比较

Table 1 Developmental duration and feeding amount of *Octodonta nipae* on different host plants

寄主植物 Host plant	发育历期(d) Developmental duration				平均取食量(mm^2) Average feeding amount	
	卵 Egg	幼虫 Larva	蛹 Pupa	成虫 Adult	幼虫 Larva	成虫 Adult
海枣 *Phoenix canariensis*	5.4 ±0.1 a	32.2 ±0.4 b	8.6 ±0.4 bc	139.2 ±16.4 a	3 318.0 ±372.6 a	6 973.8 ±844.0 ab
棕榈 *Trachycarpus fortunei*	5.6 ±0.1 a	28.5 ±1.1 c	7.1 ±0.6 c	157.7 ±18.85 a	3 318.8 ±345.9 a	8 763.2 ±866.1 a
刺葵 *Phoenix hanceana*	5.6 ±0.1 a	34.8 ±0.7 b.	9.7 ±0.3 ab	193.1 ±23.67 a	2 230.8 ±228.5 b	6 001.7 ±729.7 b
蒲葵 *Livistona chinensis*	5.4 ±0.2 a	51.3 ±1.5 a	10.7 ±0.3 a	55.7 ±12.02 b	2 430.9 ±261.5 b	1 323.0 ±168.9 c
F, *P*	$F_{3,126}=0.96$, $P=0.495$	$F_{3,117}=99.36$, $P=0.000$	$F_{3,103}=14.36$, $P=0.013$	$F_{3,84}=21.14$, $P=0.006$	$F_{3,117}=5.99$, $P=0.001$	$F_{3,84}=13.94$, $P=0.000$

表中数据为平均值 ± 标准误，同一行中的数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$，Duncan 氏多重比较)；表2 和3 同。Data are represented as mean ± *SE*, the values in the same row followed by different letters indicate significant difference ($P<0.05$) (Duncan's multiple range comparison). The same for Tables 2 and 3.

右；而以蒲葵饲养的水椰八角铁甲幼虫期超过 50 d。另外，令人惊奇的是，海枣、棕榈、刺葵上水椰八角铁甲幼虫均为 4 个龄期，而在蒲葵上出现了 5 龄幼虫。蛹历期平均为 8 d 左右，在蒲葵上长达 10 d 左右，显著长于其他 3 种寄主，存在显著差异。同时，不同寄主植物饲养的成虫寿命差异显著，如海枣上成虫寿命为 139.2 d，棕榈为 157.8 d，刺葵为 193.1d；蒲葵饲养的最短，仅约为 55.7 d。

水椰八角铁甲幼虫对 4 种寄主的取食量明显不同(表 1)，在海枣和棕榈上的取食量较大，约为 3 318 mm^2，在刺葵和蒲葵上的取食量较小，约为 2 300 mm^2。成虫在棕榈上的取食量最高，平均 8 763 mm^2，其次在海枣的取食量为 7 000 mm^2，在刺葵的取食量约为 6 000 mm^2，而在蒲葵上的取食量最低，仅为 1 300 mm^2。

2.2 水椰八角铁甲对不同寄主植物的定向取食和繁殖选择

如表 2 所示，水椰八角铁甲对不同寄主在前 24 h 内的选择趋势没有显著差异($P>0.05$)。第 48 小时时水椰八角铁甲对海枣和刺葵的趋向明显，显著高于蒲葵($F_{3,16}=5.441$，$P<0.01$)，水椰八角铁甲在不同寄主植物上的虫口数量由高到低依次为：海枣(11.2 头)、刺葵(10.2 头)、棕榈(8.8 头)、蒲葵(6.2 头)。在 48 ~72 h 内，水椰八角铁甲对刺葵的选择略有降低(9.4 头)，对棕榈的选择略有增加(9.2 头)，但是对刺葵、蒲葵与棕榈这 3 种寄主植物的趋向并不明显，而对海枣(11.8 头)的趋向明显高于蒲葵(6.8 头)($F_{3,16}=3.900$，$P<0.05$)。

2.3 寄主植物营养成分含量

表 3 结果显示，4 种寄主植物心叶粗脂肪含量差异显著($F_{3,8}=153.508$，$P<0.01$)。其中，蒲葵叶片粗脂肪含量最高，海枣、刺葵次之，棕榈心叶最低。4 种寄主心叶可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸的含量均差异显著($F_{3,8}=56.922$，$P<0.01$；$F_{3,8}=150.309$，$P<0.01$；$F_{3,8}=41.278$，$P<0.01$)，其中海枣心叶 3 种物质含量均较高，而蒲葵心叶这 3 种物质含量均较低。刺葵心叶可溶性糖和可溶性蛋白含量稍高于棕榈，但游离氨基酸含量比棕榈低。

通过对寄主植物心叶 6 种营养物质进行主成分分析，发现游离氨基酸、可溶性糖、可溶性蛋白对水椰八角铁甲的取食、产卵起主要作用，它们的累计贡献率达 96.5%，这 3 种成分的特征值分别为 3.4，1.6和 0.8，其贡献率分别为 56.1%，26.7% 和13.7%（表 4）。其余 3 种成分的总贡献率仅占3.5%。

相关性分析结果表明上述 3 种成分与水椰八角铁甲取食量、产卵量均呈显著正相关(表 5)。

表 2　水椰八角铁甲对 4 种寄主植物的定向选择

Table 2　Behavioral responses of *Octodonta nipae* to the four tested palm species

寄主植物 Host plant	虫口数量(头) Number of insect individuals					72 h 单头取食量 (mm^2) Feeding amount per individual in 72 h	72 h 单雌产卵量 (粒) Number of eggs laid per female in 72 h
	1 h	2 h	24 h	48 h	72 h		
海枣 *Phoenix canariensis*	2.4 ± 0.7 a	6.2 ± 1.1 a	9.8 ± 1.5 a	11.2 ± 1.2 a	11.8 ± 1.2 a	1 550.2 ± 11.6 a	15.2 ± 1.5 a
棕榈 *Trachycarpus fortunei*	3.2 ± 0.7 a	5.8 ± 0.9 a	9.2 ± 0.9 a	8.8 ± 0.7 ab	9.2 ± 0.9 ab	1 283.6 ± 11.5 b	11.3 ± 1.1 a
刺葵 *Phoenix hanceana*	4.0 ± 2.0 a	7.2 ± 1.9 a	10.0 ± 1.3 a	10.2 ± 1.1 a	9.4 ± 0.9 ab	1 140.0 ± 16.9 c	13.4 ± 1.4 a
蒲葵 *Livistona chinensis*	4.2 ± 1.8 a	5.6 ± 1.6 a	6.8 ± 1.1 a	6.2 ± 0.5 b	6.8 ± 1.1 b	817.2 ± 11.5 d	6.8 ± 0.4 b
F, P	$F_{3,16}$ = 0.33, P = 0.805	$F_{3,16}$ = 0.24, P = 0.866	$F_{3,16}$ = 1.47, P = 0.261	$F_{3,16}$ = 5.44, P = 0.009	$F_{3,16}$ = 3.90, P = 0.029	$F_{3,16}$ = 1 101.12, P = 0.000	$F_{3,16}$ = 10.23, P = 0.001

表 3　4 种寄主植物叶片营养成分

Table 3　Nutritional components in leaves of the four palm species

寄主植物 Host plant	粗灰分(%) Crude ash	粗纤维(%) Crude fiber	粗脂肪(%) Crude fat	可溶性糖(%) Soluble sugar	可溶性蛋白(%) Soluble protein	游离氨基酸(%) Free amino acid
海枣 *Phoenix canariensis*	5.18 ± 0.12 a	42.40 ± 2.27 a	4.32 ± 0.12 b	1.13 ± 0.03 a	1.05 ± 0.04 a	19.50 ± 0.26 a
棕榈 *Trachycarpus fortunei*	4.14 ± 0.18 b	42.13 ± 0.48 a	1.42 ± 0.07 d	0.83 ± 0.06 b	0.46 ± 0.03 b	19.17 ± 0.09 a
刺葵 *Phoenix hanceana*	4.77 ± 0.03 a	47.71 ± 0.66 a	2.23 ± 0.10 c	1.06 ± 0.07 a	0.50 ± 0.13 b	17.99 ± 0.06 b
蒲葵 *Livistona chinensis*	4.97 ± 0.12 a	45.90 ± 0.84 a	7.04 ± 0.35 a	0.29 ± 0.02 c	0.27 ± 0.02 c	17.29 ± 0.15 c
F, P	$F_{3,8}$ = 13.27, P = 0.002	$F_{3,8}$ = 4.54, P = 0.059	$F_{3,8}$ = 153.51, P = 0.000	$F_{3,8}$ = 56.92, P = 0.000	$F_{3,8}$ = 150.31, P = 0.000	$F_{3,8}$ = 41.28, P = 0.000

表 4　寄主植物叶片中 6 种营养成分的主成分分析

Table 4　Principal component analysis of six nutritional components in different host leaves

成分 Component	特征值 Eigen value	贡献率 Contribution rate	累计贡献率 Accumulative contribution rate
游离氨基酸 Free amino acid	3.40	56.1	56.1
可溶性糖 Soluble sugar	1.60	26.7	82.9
可溶性蛋白 Soluble protein	0.80	13.7	96.5
粗灰分 Crude ash	0.20	2.8	99.3
粗纤维 Crude fiber	0.03	0.5	99.8
粗脂肪 Crude fat	0.01	0.2	100.0

表 5 寄主植物叶片中主要营养成分与水椰八角铁甲取食量、产卵量之间的相关性

Table 5 Correlation analysis of principal nutritional components in host leaves with feeding and fecundity of *Octodonta nipae*

成分 Component	72 h 单头取食量(mm^2) Feeding amount per individual in 72 h	72 h 单雌总产卵量(粒) Fecundity (number of eggs laid per female in 72 h)
游离氨基酸 Free amino acid	$r = 0.934$, $P = 0.000$	$r = 0.829$, $P = 0.001$
可溶性糖 Soluble sugar	$r = 0.847$, $P = 0.001$	$r = 0.909$, $P = 0.000$
可溶性蛋白 Soluble protein	$r = 0.904$, $P = 0.000$	$r = 0.699$, $P = 0.011$

3 讨论

植物营养是指植物从周围环境中吸收或是通过自身的光合作用合成的能被自身所利用的物质，其中与昆虫的行为和发育有较大关系的植物营养物质主要有蛋白质、碳水化合物、氨基酸、脂肪、水、矿物质和维生素等。昆虫与潜在寄主接触后，是否会在植物上滞留并取食产卵，与植物本身的营养物质有着密切关系。植物营养直接或间接地影响着植食性昆虫的寄主选择(卢伟等，2006)。粗脂肪、可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸含量的高低是反映植物品质好坏的重要指标。可溶性糖，蛋白含量高表明植物营养价值高(申晓萍等，2010)。本研究发现，4 种寄主植物上水椰八角铁甲取食量和产卵量与寄主植物心叶中可溶性糖、可溶性蛋白和游离氨基酸含量呈显著正相关，而与粗脂肪含量相关性不明显。

寄主植物蒲葵的心叶中，除粗脂肪含量较高外，另外 3 种营养均显著低于其他 3 种寄主，表明蒲葵心叶的营养品质较低。水椰八角铁甲在蒲葵上的取食量和产卵量也较低。在试验中我们也发现，饲养在蒲葵上的铁甲发育历期最长，甚至比其他 3 种寄主上的铁甲幼虫多一个龄期。另外，在以往长期饲养的过程中，我们还发现取食蒲葵的铁甲几乎不产卵，但有一些会发生正常交配行为。然而，在本研究的定向选择试验中，我们发现在蒲葵上铁甲产少量卵。这可能是尽管寄主植物营养品质差，昆虫在生存与繁殖之间选择了前者(Awmack and Leather，2002)。虽然粗脂肪含量与铁甲取食产卵无显著相关性，但蒲葵中粗脂肪含量显著高于其他 3 种寄主。脂肪一般提供能量，而高的蛋白一般对产卵有利，这可能也是寄主植物营养成分影响该虫产卵的一个因素(Awmack and Leather，2002)。而在水椰八角铁甲的定向选择试验中，48 – 72 h 时铁甲对刺葵的选择稍有下降，而对棕榈的选择稍有增加，这可能与刺葵心叶的较狭窄的物理性状而导致的叶片失水过快有关。同时，水椰八角铁甲取食刺葵心叶后导致其化学性挥发物或者次生物质的改变可能对其产生影响。

一些研究报道植物叶片中的可溶性糖含量与昆虫选择性呈负相关关系(戴小华等，2001)。许多双翅目昆虫饲料中，若可溶性糖含量过高，则对其生长发育有抑制作用(忻介六和苏德明，1979)。吴坤君和李明辉(1992)在食物中含糖量对棉铃虫生长发育的影响研究中发现，当食物中糖含量低于 10% 时，蛹的脂肪含量下降，成虫寿命缩短，产卵量显著减少，而当含糖量超过 28% 时，幼虫的取食速率降低，代谢负担加重，发育历期延长，成虫繁殖力下降。在本实验中，我们发现棕榈科植物叶片中的可溶性糖含量与昆虫取食量和产卵量均呈正相关关系，即可溶性糖含量越高，铁甲对其选择性越明显。这与戴小华等(2001)及忻介六和苏德明(1979)等的报道结果不相符。这可能是由于本实验采用的棕榈科植物叶片的整体含糖量较低，在维持昆虫正常生长发育所需的含糖量范围之内。因此随着含糖量的增加，其取食产卵也随之增加。

寄主植物中氮素和糖类含量在幼虫营养中都起着重要的作用，而蛋白质含量在成虫营养中起到至关重要的作用，尤其是雌虫(Awmack and Leather，2002)。例如，吴坤君和李明辉(1993)研究了棉铃虫取食不同蛋白质含量食物时的种群生命表，结果显示，更高的饲料蛋白质含量虽然对幼虫的发育和存活没有造成不利的影响，但却使成虫的产卵量下降，可见食料中碳水化合物和蛋白质的浓度及比率对昆虫的生长、发育和繁殖都可能产生影响。氮元素是决定植食性昆虫繁殖力的一个重要因素。Dixon 等(1993)研究了美国梧桐树 *Acer pseudoplatanus* L. 韧皮部的汁液对蚜虫的影响时发现，在梧桐树的生长季节初期韧皮部氨基酸含量很高，此时蚜虫个体大且繁殖力高；随着美国梧桐逐渐成熟，韧皮部氨基酸含量也会随之下降，蚜虫会

逐渐终止繁殖；当叶片变老后，蚜虫的繁殖力又会随着韧皮部氨基酸含量的增加而增加。另一项研究发现小麦幼苗韧皮部的氨基酸含量也会随着季节的变化而变化，而禾谷缢管蚜 *Rhopalosiphum padi* (L.)的繁殖力与氨基酸含量仍呈显著的正相关关系(Weibull, 1987)。在本研究中，我们也证实了寄主植物叶片中的游离氨基酸含量与水椰八角铁甲的取食和产卵量均呈显著正相关关系。

本研究通过分析寄主营养与水椰八角铁甲选择之间的关系，明确了该虫的种群致害性以及在生长发育过程中对主要营养的需求。在此基础上，我们将进一步研究寄主胁迫下的水椰八角铁甲体内生理生化物质的变化，以期为分析该入侵害虫的种群适应性和扩散机制提供重要的科学依据。

参考文献 (References)

Awmack CS, Leather SR, 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Reviews of Entomology*, 47: 817 – 844.

Chen YB, Zhang CZ, Hu LQ, 1999. Effects of host plants on the growth and development of *Spodoptera exigua* Hübner. *Entomological Knowledge*, 36(6): 332 – 334. [陈永兵，张纯胄，胡丽秋，1999. 寄主植物对甜菜夜蛾生长发育的影响. 昆虫知识，36(6): 332 – 334]

Chen YQ, 2002. The Experimental Methods and Technology of Biochemistry. Science Press, Beijing. [陈毓荃，2002. 生物化学试验方法和技术. 北京：科学出版社]

Coudriet DL, Prabhaker N, Kishaba AN, Meyerdirk DE, 1985. Variation in development rate on different hosts and overwintering of the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology*, 14(4): 516 – 519.

Dai XH, You MS, Fu LJ, 2001. The relationship between the host selection by *Liriomyza sativae* and the content of nutritional substances in foliage. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 32(3): 311 – 313. [戴小华，尤民生，付丽君，2001. 美洲斑潜蝇寄主选择性与寄主植物叶片营养物质含量的关系. 山东农业大学学报(自然科学版)，32(3): 311 – 313]

Dixon AFG, Wellings PW, Carter C, Nichols JFA, 1993. The role of food quality and competition in shaping the seasonal cycle in the reproductive activity of sycamore aphid. *Oecologia*, 95: 89 – 92.

Gressitt JL, 1960. Papuan-West Polynesian hispine beetles (Chrysomelidae). *Pacific Insects*, 2(1): 8 – 13.

Hou YM, Weng ZQ, 2010. Temperature-dependent development and life table parameters of *Octodonta nipae* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology*, 39(5): 1676 – 1684.

Li Y, Cheng LS, Peng ZQ, Ju RT, Wan FH, 2007. Effects of host plants on development and fecundity of *Brontispa logissima* (Gestro). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(9): 2050 – 2054. [李亚，程立生，彭正强，鞠瑞亭，万方浩，2007. 寄主植物对椰心叶甲生长发育和繁殖力的影响. 应用生态学报，18(9): 2050 – 2054]

Liang QC, Huang FY, Huang J, Lai TZ, Zou HW, 2002. Several Hispidae pests were intercepted from emigrant palm plants. *Plant Quarantine*, 16(1): 19 – 22. [梁琼超，黄法余，黄箭，赖天忠，邹焕文，2002. 从进境棕榈植物中截获的几种铁甲科害虫. 植物检疫，16(1): 19 – 22]

Lin KJ, Wu KM, Wei HY, Guo YY, 2003. The effects of host plants on growth and development of *Bemisia tabaci* populations in China (Homoptera: Aleyrodidae). *Acta Ecologica Sinica*, 23(5): 870 – 877. [林克剑，吴孔明，魏洪义，郭予元，2003. 寄主作物对B型烟粉虱生长发育和种群增殖的影响. 生态学报，23(5): 870 – 877]

Lin KJ, Wu KM, Zhang YJ, Guo YY, 2008. The feeding and oviposition behaviors of *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B on five host plants. *Acta Phytophylacica Sinica*, 35(3): 199 – 204. [林克剑，吴孔明，张永军，郭予元，2008. B型烟粉虱成虫对五种寄主植物的取食和产卵行为. 植物保护学报，35(3): 199 – 204]

Lu W, Hou ML, Li JW, 2006. Effects of plant nutrition on behaviors and development of herbivorous insects. In: Academic Annual Meeting Symposium of China Society of Plant Protection in 2006. China Agricultural Scientech Press, Beijing. 314 – 319. [卢伟，侯茂林，黎家文，2006. 植物营养对植食性昆虫行为与发育的影响. 见：中国植物保护学会2006学术年会论文集. 北京：中国农业科学技术出版社. 314 – 319]

Mohanty AK, Basu AN, 1986. Effects of host plants and seasonal factors on intraspecific variations in pupal morphology of the whitefly vector, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Entomological Research*, 10(1): 19 – 26.

Ning KG, 1993. Analysis Manual of Practical Artificial Diets. China Agricultural Scientech Press, Beijing. 1 – 18. [宁开桂，1993. 实用饲料分析手册. 北京：中国农业科技出版社. 1 – 18]

Qin JD, 1985. The relationship of insects and plants. *Bulletin of Biology*, 10: 16 – 18. [钦俊德，1985. 昆虫与植物的关系. 生物学通报，10: 16 – 18]

Shen XP, Ou SS, Xie YJ, Wang XX, Qin LH, Hou L, 2010. Correlation of micro-structure of vagina cuticular layer and nutrient composition of palm plants with the injury degree of red palm fiber elephant. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 38(15): 7906 – 7908, 7912. [申晓萍，欧善生，谢彦洁，王小欣，覃连红，侯亮，2010. 棕榈科植物叶鞘表皮微形态及营养成分与红棕象甲危害程度相关性，安徽农业科学，38(15): 7906 – 7908, 7912]

Sun JH, Yu PY, Zhang YZ, Wang XJ, 2003. A new invasive coconut pest in Hainan Province. *Entomological Knowledge*, 40(3): 286 – 287. [孙江华，虞佩玉，张彦周，王小君，2003. 海南省新发现的林业外来入侵害虫——水椰八角铁甲. 昆虫知识，40(3): 286 – 287]

Tang ZC, 1999. The Experimental Guideline of Modern Plant Physiology. Science Press, Beijing. [汤章城，1999. 现在植物生理学试验指南. 北京：科学出版社]

Tsai JH, Wang KH, 1996. Development and reproduction of *Bemisia*

argentifolii (Homoptera: Aleyrodidae) on five host plants. *Environmental Entomology*, 25(4): 810 – 816.

Wang XK, 2006. Plant Physiology. Higher Education Press, Beijing. 186 – 242.［王学奎, 2006. 植物生理学. 北京: 高等教育出版社. 186 – 242］

Weibull J, 1987. Seasonal changes in the free amino acids of oat and barley phloem sap in relation to plant growth stage and growth of *Rhopalosiphum padi*. *Annals of Applied Biology*, 111(3): 729 – 737.

Wu DJ, Lin YH, Chen XJ, Yuan H, Li SB, 2007. The inspection and quarantine of *Octodonta nipae* (Maulik) and the risk of incoming Shunde. *Plant Quarantine*, 21(1): 25 – 26.［吴大军, 杜奕华, 陈秀绢, 袁浩, 李时斌, 2007. 水椰八角铁甲的检验检疫及传入顺德的风险. 植物检疫, 21(1): 25 – 26］

Wu KJ, Li MH, 1992. Nutritional ecology of the cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hubner): effects of dietary sugar concentration on development and reproduction. *Acta Entomologica Sinica*, 35(1): 47 – 52.［吴坤君, 李明辉, 1992. 棉铃虫营养生态学研究: 食物中糖含量的影响. 昆虫学报, 35(1): 47 – 52］

Wu KJ, Li MH, 1993. Nutritional ecology of the cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hubner): life tables of the population on the artificial diets with different protein levels. *Acta Entomologica Sinica*, 36(1): 21 – 28.［吴坤君, 李明辉, 1993. 棉铃虫营养生态学研究: 取食不同蛋白质含量饲料时的种群生命表. 昆虫学报, 36(1): 21 – 28］

Xia JY, Ma Y, Wang CY, 1997. Effects of different host plants on development and reproduction of the cotton bollworm. *Journal of Plant Protection*, 24(4): 375 – 376.［夏敬源, 马艳, 王春义, 1997. 不同寄主植物对棉铃虫发育与繁殖的影响. 植物保护学报, 24(4): 375 – 376］

Xin JL, Su DM, 1979. Artificial Rearing of Insects, Mites and Spiders. Science Press, Beijing.［忻介六, 苏德明, 1979. 昆虫、螨类、蜘蛛的人工饲养. 北京: 科学出版社］

Yu FY, Qin WQ, Ma ZL, Li CX, Hang SC, Han CW, 2009. Effects of host plants on development and fecundity of *Octodonta nipae*. *Plant Protection*, 35(2): 72 – 74.［余凤玉, 覃伟权, 马子龙, 李朝绪, 黄山春, 韩超文, 2009. 寄主植物对水椰八角铁甲生长发育和繁殖力的影响. 植物保护, 35(2): 72 – 74］

Zeng L, Zhou R, Cui ZX, Lu YY, Liang GW, 2003. Effect of host plants on development and survival of *Brontispa longissima* (Gestro). *Journal of South China Agricultural University (Natural Science Edition)*, 24(4): 37 – 39.［曾玲, 周荣, 崔志新, 陆永跃, 梁广文, 2003. 寄主植物对椰心叶甲生长发育的影响. 华南农业大学学报(自然科学版), 24(4): 37 – 39］

(责任编辑: 袁德成)